

## مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره هفتم، شماره بیستم و پنجم، پاییز ۱۳۹۵

تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۷/۱۲

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۰۵

صص ۶۴-۷۵

### پایش تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر روند تخریب زمین و بیابان‌زایی

### با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (مطالعه‌ی موردی: شرق ایران، دریاچه‌ی هامون)

رسول خوارزمی\*، دانشجوی دکتری سنجش‌ازدور - دانشگاه سن پترزبورگ روسیه

علی اصغر عبداللهی، استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری - دانشگاه شهید باهنر کرمان

محمد رضا راهداری، دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی - دانشگاه تهران

منصور کارکن ورنوسفادرائی، دانشجوی دکتری سنجش‌ازدور - دانشگاه زمین‌شناسی مسکو روسیه

#### چکیده

امروزه فناوری‌های سنجش‌ازدور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان دو عنصر اصلی در پایش کاربری اراضی و تغییرات پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌کارگیری این روش به‌عنوان یکی از منابع مهم دریافت اطلاعات مربوط به تغییرات سطح زمین، نقش مهمی را در مدیریت زیست‌بوم‌ها ایفا می‌کند. تحقیق حاضر باهدف بررسی روند تغییرات کاربری اراضی، پویایی پوشش گیاهی و گرایش زیست‌بوم تالاب‌های هامون هیرمند و هامون صابری در یک دوره‌ی هفت‌ساله صورت گرفته است. بدین منظور از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ در سال ۲۰۰۶ میلادی و لندست ۸ در سال ۲۰۱۳ میلادی و در ماه آوریل استفاده شده است. پس از انجام تصحیحات لازم، با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده و با تکیه بر خصوصیات طیفی پدیده‌ها در باندهای مختلف نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه‌ی تهیه شد. به‌منظور بررسی درصد تغییرات کاربری اراضی، هر کدام از کاربری‌های به‌دست‌آمده در سال ۲۰۰۶ به‌طور جداگانه بر روی نتایج طبقه‌بندی سال ۲۰۱۳ قرار داده شد و مقدار تغییرات هر کلاس در دوره‌ی موردنظر به دست آمد. صحت روش به کار گرفته‌شده با تکیه بر پژوهش‌های میدانی انجام‌شده در سال ۲۰۱۰ میلادی که شاخص تعدیل‌کننده‌ی خاک (SAVI) را به‌عنوان شاخصی با بالاترین ضریب همبستگی با ویژگی‌های منطقه‌ی معرفی می‌کند، مورد بازبینی قرار گرفت. نتایج بیانگر این است که استفاده از خصوصیات طیفی پدیده‌ها در این نوع طبقه‌بندی صحت قابل‌اعتمادی را ارائه می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، کلاس‌های پوشش گیاهی و آب کاهش چشم‌گیری را در دوره‌ی مورد مطالعه داشتند و بر مساحت کلاس اراضی بایر افزوده شده است که نشان از گرایش منطقه‌ی مورد مطالعه به سمت بیابانی شدن دارد. سیر قهقرای زیست‌بوم هامون سبب چالش‌های زیست‌محیطی متعددی من جمله آلودگی ناشی از گردوغبار، از دست رفتن مشاغل وابسته به دریاچه هم‌چون ماهیگیری و دامداری و نیز افزایش مهاجرت از این منطقه‌ی شده است.

**واژگان کلیدی:** پایش، بیابان‌زایی، کاربری اراضی، تخریب زمین، رود هیرمند، سنجش‌ازدور، حوزه‌ی سیستان.

## ۱- مقدمه

تخریب زمین یک فرآیند جهانی است که در نهایت منجر به کاهش حاصلخیزی خاک می‌شود (Salvati et al., 2008: 3). در مناطق خشک تخریب زمین همراه با پدیده‌های شدید فیزیکی-زیستی و اقتصادی-اجتماعی است که ممکن است به پدیده‌های غیرقابل برگشت از جمله تخریب محیط‌زیست تبدیل شوند (Carlos et al., 2005: 2). به‌طور کلی در حوزه‌های مدیترانه‌ای تخریب زمین به شرایط اکولوژیکی (به‌عنوان مثال خشکی، ویژگی‌های خاک، فرسایش، شیب، پوشش گیاهی) به همراه جنبه‌های خاصی از خشک‌سالی و فشار جمعیت (به‌عنوان مثال تراکم جمعیت) و مدیریت ناپایدار زمین مربوط می‌شود (Rahdari et al., 2014: 2). در مناطق مدیترانه‌ای تغییرات بیوفیزیکی و شرایط اجتماعی-اقتصادی، کیفیت زمین را تحت تأثیر می‌گذارد و تعاملاتشان ممکن است در زمان و مکان شدیداً پیچیده باشد و انواعی از الگوهای تخریب زمین را ایجاد کند (Salvati et al., 2012: 2).

بیابان‌زایی در اثر فرآیند تخریب اراضی با توجه به عوامل متعدد در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب ایجاد می‌گردد. بیابان‌زایی فرآیندی است که برخی از اکوسیستم‌های گیاهی، خاکی و انسانی را تحت تأثیر می‌گذارد. ویژگی‌هایی از قبیل تغییرات اقلیمی، فقدان پوشش گیاهی، رشد جمعیت انسانی و کاربری اراضی از مهم‌ترین فاکتورهای گسترش بیابان‌زایی می‌باشند (Barzani et al., 2013: 3). معیشت بیش از ۱/۲ میلیارد نفر از ساکنان مناطق خشک که در ۱۱۰ کشور پراکنده می‌باشند، به‌وسیله‌ی بیابان‌زایی و خشک‌سالی تهدید می‌شود (Rahdari et al., 2013: 1). تخریب زمین و بیابان‌زایی در طول دهه‌های اخیر در ایران از یک رشد فزاینده‌ای برخوردار بوده است که نخست در نتیجه‌ی افزایش جمعیت نسبت به قبل و دو برابر شدن آن نسبت به ۲۵ سال گذشته، هم‌چنین افزایش تغییرات کاربری اراضی به علت نیاز به افزایش محصولات کشاورزی باعث شده است که اراضی جنگلی و مرتعی به اراضی کم بازده کشاورزی تبدیل شود و عامل بعدی استفاده از فرآورده‌های چوبی به علل مختلف سبب از بین رفتن پوشش گیاهی و شدت بخشیدن به فرسایش خاک شده است (Rashki et al., 2013: 2).

امروزه کسب دانش در مورد سلامت پوشش گیاهی و خاک، نقش مهمی در مدیریت زیست‌بوم‌ها بازی می‌کند. دسترسی به اطلاعات به‌منظور ارزیابی و نظارت بر زیست‌بوم‌ها در مقیاس جهانی و منطقه‌ای اغلب دشوار و محدود است. در این میان، دانش سنجش‌از‌دور نقش مهمی را در پایش و مدیریت این مناطق بر عهده دارد که با ایجاد یک دید وسیع و یک‌پارچه از منطقه، می‌توان الگوهای مکانی کاربری و پوشش اراضی را تعیین نمود (راهداری و همکاران، ۱۳۹۰: ۲). ویژگی‌هایی از قبیل دید وسیع، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف انرژی الکترومغناطیسی به‌منظور ثبت پدیده‌ها و مهم‌تر از همه کم‌هزینه بودن و بالا بودن سرعت تجزیه و تحلیل سبب شده که این روش با استقبال خاصی مواجه شود. از ویژگی‌های اصلی تصاویر ماهواره‌ای رقومی بودن آن است که امکان تجزیه و تحلیل تصاویر را بر مبنای تغییرات بازتابی اجسام و پدیده‌های زمینی مهیا می‌کند. طبقه‌بندی یکی از مهم‌ترین اهداف اصلی فرآیندهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای است که نتیجه‌ی نهایی آن معمولاً ایجاد نقشه‌های موضوعی از پوشش زمین با دارا بودن ویژگی‌های کاربری اراضی مشخصی است (زبیری و مجد، ۱۳۹۰: ۲۴۷).

با توجه به این‌که در روش طبقه‌بندی رقومی، جداسازی کلاس‌ها بر اساس وضعیت و الگوی طیفی پدیده‌های مورد مطالعه صورت می‌گیرد، میزان موفقیت طبقه‌بندی رقومی بستگی به میزان تمایز بازتاب‌های طیفی پدیده‌ها از یکدیگر دارد (Chaban, 2005: 33). معمول‌ترین روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه به دو صورت نظارت‌شده و نظارت‌نشده صورت می‌گیرد. در روش نظارت‌نشده با توجه به ارزش‌های طیفی تصاویر کار کلاس‌بندی انجام می‌شود و پیکسل‌های ناشناخته در تصویر متناسب با ارزش‌های پیکسلی به صورت گروهی یا خوشه‌ای طبقه‌بندی می‌شوند. مهم‌ترین اصل این است که ارزش‌های پیکسلی پوشش‌های معین بایستی از لحاظ آماری مشابه هم باشند تا از این طریق اطلاعات طیفی در کلاس‌های مختلف به صورت مقایسه‌ای جدا شوند (زبیری و مجد، ۱۳۹۰: ۲۴۷-۲۴۶).

برای تهیهی خصوصیات پوشش‌های گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از شاخص‌های گیاهی استفاده می‌شود. شاخص‌های گیاهی، تبدیلات محاسباتی هستند که بر اساس رفتار طیفی گیاهان تعریف می‌شوند و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهدات ماهواره‌ای چندطیفی طراحی شده‌اند (کبیری، ۱۳۸۰: ۴۸). بیش‌ترین باندهایی که در محاسبه‌ی شاخص‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در محدوده‌ی باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک هستند. دلیل این امر، خاصیت جذب نور قرمز توسط رنگ‌دانه‌های موجود در کلروفیل و کاهش انعکاس در این طیف و همچنین انعکاس شدید گیاهان در بخش مادون‌قرمز طیف الکترومغناطیسی است. یکی از رایج‌ترین شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در مناطق خشک، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده است که بر اساس آن نیز شاخص پوشش گیاهی تعدیل‌شده بر مبنای خاک تعریف می‌شود که با اضافه شدن ضریب  $L$ ، از میزان انعکاس خاک کاسته می‌شود.

$$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \times (1 + L) \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

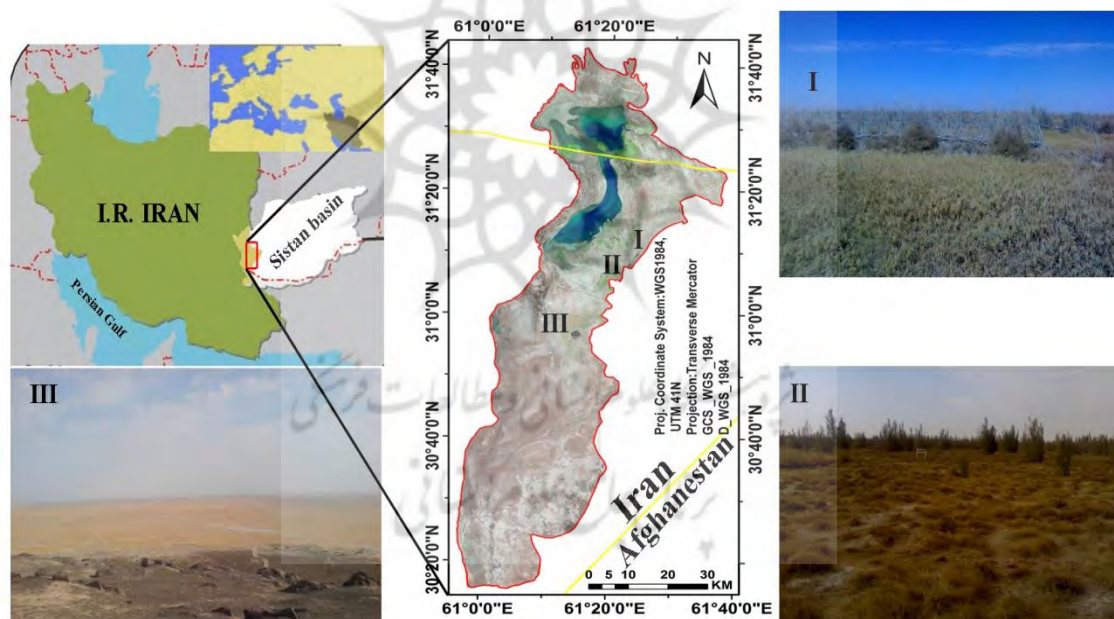
که در آن  $NIR$  برابر با ارزش بازتاب باند مادون‌قرمز نزدیک،  $R$  برابر با ارزش بازتاب باند قرمز و  $L$  برابر با ضریب تصحیح روشنایی خاک است. ضریب  $L$  با توجه به تراکم پوشش گیاهی سبز بین ۰ تا ۱ متغیر است. عدد ۰ بیانگر مناطق با پوشش گیاهی متراکم و عدد ۱ بیانگر اراضی بایر و بدون پوشش سبز است (Chaban, 2005: 28).

سلمان ماهینی و همکاران (۱۳۸۷) به منظور بررسی تغییرات پوشش درختی گلستان از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی و پالایش داده‌های تعلیمی خام با روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده استفاده کردند و نتایج نشان داد که روش‌های مورد استفاده دارای دقت مطلوب، باهدف تعیین تغییرات منطقه‌ی مذکور می‌باشند. خداکرمی و همکاران (۱۳۹۱) جهت شناسایی و تعیین سطح زیر کشت اراضی کشاورزی استان همدان از اعمال آنالیز جبر بولین و روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده بهره بردند و نتایج بیانگر آن بود که طبقه‌بندی نظارت‌نشده به دلیل صرف زمان کم‌تر برای تعیین حد آستانه‌ی بهتر است. راهداری و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌نشده تغییرات تراکم پوشش جنگلی منطقه‌ی حفاظت‌شده حرا را مورد بررسی قرار دادند و به منظور تعیین دقت طبقه‌بندی از شاخص پوشش گیاهی نرمال شده استفاده نمودند. برنامه‌ی محیط‌زیست ملل متحد (UNEP) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به بررسی تغییرات زیست‌محیطی حوزه‌ی سیستان در سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ پرداخته است. واکاوی نتایج نشان داد که در دوره‌ی مورد بررسی منابع آبی و تراکم گوشش گیاهی شدت کاهش پیدا نموده است. موسوی و همکاران (۲۰۱۴) طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، همبستگی شاخص‌های مختلف با زیست‌بوم منطقه‌ی حفاظت‌شده‌ی هامون را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که شاخص  $SAVI$  بیش‌ترین همبستگی را با بیوماس منطقه دارد.

مجموعه تالاب‌های هامون در منتهی‌الیه حوزه‌ی سیستان، به‌عنوان مهم‌ترین زیستگاه حیات‌وحش و به‌ویژه پرندگان در شرق کشور محسوب می‌شود. قرارگیری این پهنه‌ی آبی در اقلیم خشک شرق کشور نقش قابل توجهی در تأمین محیطی مناسب چه برای انسان‌ها و چه برای جانوران دارد. عوامل متعددی از جمله تأمین نشدن حبابه‌ی این تالاب‌ها در سال‌های اخیر و خشک‌سالی هیدرولوژیکی حیات را در این زیستگاه ارزشمند به خطر انداخته است. هدف از این پژوهش، ارزیابی امکان و توانایی استفاده از خصوصیات طیفی اشیاء در تصاویر ماهواره‌ای لندست به منظور بررسی روند تغییرات سیمای سرزمین و تغییرات کاربری اراضی در مناطق خشک است. بدین منظور تغییرات پویایی دریاچه‌ی هامون به‌عنوان یکی از زیست‌بوم‌های مهم شرق ایران در طی یک دوره‌ی هفت‌ساله (۲۰۰۶-۲۰۱۳) با استفاده از تصاویر از ماهواره‌ی لندست مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به کمبود داده‌های میدانی در بازه‌های زمانی مورد بررسی؛ در این مطالعه با استفاده از طبقه‌بندی پیسکل پایه نظارت‌نشده و با تکیه بر پروفیل‌های طیفی کاربری‌های مختلف اراضی؛ تغییرات پویایی و گرایش زیست‌بوم دریاچه هامون بررسی شده است و با بکارگیری شاخص  $SAVI$  نتایج صحت سنجی شده‌اند.

## ۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه با مساحتی حدود ۴۳۱۹ کیلومترمربع در محدوده جغرافیایی ۶۰ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است که شامل تالاب‌های هامون هیرمند در شرق ایران و هامون صابری در غرب افغانستان است. بخش واقع شده در ایران در زمره تالاب‌های ثبت شده در کنوانسیون رامسر به شمار می‌آید و به‌عنوان تنها زیستگاه پرندگان در شرق کشور محسوب می‌گردد (راهداری و همکاران، ۱۳۹۰: ۳). ارتفاع متوسط دریاچه‌ی هامون از سطح دریا ۴۷۰ متر است و اقلیم آن خشک و فراخشک بوده و متوسط بارندگی آن ۵۸/۸ میلی‌متر است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۲: ۳) از گونه‌های مهم گیاهی منطقه می‌توان به اویارسلام، لویی، نی، قمیش، بارهنگ آبی، گز و تاغ اشاره کرد که چهار گونه اول به‌عنوان منبع اصلی تأمین علوفه‌ی دامداران محلی محسوب می‌شوند. به دلیل ناچیز بودن نزولات آسمانی، حیات زیست‌مندان این منطقه به‌طور کامل وابسته به منابع آب خارج از حوزه‌ی سیستان است که در این میان، رود هیرمند نقش بسیار مهمی را در تأمین آب این دو تالاب ذکر شده بر عهده دارد. مشکلات اساسی محیط زیستی زمانی رخ می‌دهد که این رود توانایی تأمین آب مورد نیاز این منطقه را نداشته باشد و به دلیل تبخیر بالای منطقه که سالانه به‌طور متوسط ۴۵۰۰ میلی‌متر است (راهداری و همکاران، ۱۳۹۰: ۴) و همچنین بادهای موسوم به صدوبیست روزه، منابع آبی به‌سرعت از دسترس خارج می‌شوند که سبب بروز مشکلات اقتصادی، اجتماعی و سلامت ساکنان منطقه می‌شود. شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: ترکیب رنگی کاذب باندهای ۴-۵-۶ از تصویر ماهواره لندست ۸ نمایشه آوریل سال ۲۰۱۳ میلادی از منطقه‌ی مورد مطالعه به همراه دید کلی از وضعیت پوشش گیاهی بستر دریاچه‌ی هامون در سال ۲۰۰۷ میلادی

## ۳- مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تغییرات زیست‌بوم منطقه‌ی مورد مطالعه، از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی  $ETM^+$  لندست ۷ سال ۲۰۰۶ و سنجنده‌ی OLI لندست ۸ در سال ۲۰۱۳ استفاده شد. با توجه به اقلیم منطقه‌ی مورد مطالعه، پوشش گیاهی این منطقه به دلیل افزایش دما و تبخیر بالای منطقه‌ی دوره‌ی رشد کوتاهی دارد. در این منطقه در ماه آوریل، دوره‌ی رشد گیاهان بستر دریاچه کامل می‌شود (راهداری و همکاران، ۱۳۹۰: ۹). با در نظر گرفتن این نکته و همچنین هدف

مطالعه، تصمیم بر آن شد که از تصاویر مربوط به ماه آوریل استفاده شود. هر دو تصویر مربوط به روز چهارم این ماه می‌باشند. به دلیل عدم دسترسی به تصاویر سایر سنجده‌های این ماهواره در دوره‌ی زمانی ۲۰۰۶، از تصاویر سنجنده ETM<sup>+</sup> استفاده شد. تصاویر دریافت شده از این سنجنده به دلیل نقص فنی، حاوی خطوط نواری شکل با ارزش پیکسل صفر می‌باشند که سبب ایجاد محدودیت در کلاس‌بندی تصاویر و کسب نتیجه‌ی دقیق می‌شود. این خطوط کم‌تر از ۱۰ درصد از کل منطقه‌ی مورد مطالعه را شامل می‌شوند. این مانع با اتخاذ روشی قابل اطمینان که در ادامه توضیح داده شده است، مرتفع گردید تا در صحت نتیجه‌ی نهایی کلاس‌بندی خللی ایجاد نگردد. بررسی اولیه‌ی تصاویر در مرحله‌ی پیش‌پردازش نشان داد که میانگین خطای زمین مرجع کم‌تر از ۰/۵ پیکسل است و نیاز به زمین مرجع نمودن تصاویر نیست. با توجه به در دسترس نبودن اطلاعات میدانی در بازه‌های زمانی انتخاب‌شده، به‌منظور تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی از بررسی تصاویر رنگی کاذب، خصوصیات طیفی پدیده‌ها، آرشیو Google Earth و تحقیقات انجام‌شده استفاده گردید.

پس از اطمینان از عدم وجود خطاهای طیفی و هندسی و زمین مرجع بودن تصاویر ماهواره‌ای، به‌منظور به دست آوردن تصاویر رنگی کاذب، از ترکیب باندی شامل باندهای آبی، سبز، قرمز، مادون‌قرمز نزدیک و میانی استفاده شد. به‌منظور به دست آوردن خصوصیات کاربری اراضی منطقه‌ی و بررسی خصوصیات طیفی پدیده‌ها، طبقه‌بندی نظارت‌نشده بر مبنای تصویر سال ۲۰۱۳ میلادی انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که به دلیل رطوبت کافی، بیش‌ترین تراکم پوشش گیاهی در اطراف منابع آبی مشاهده می‌گردد. در تصویر سال ۲۰۰۶ ابتدا طبقه‌بندی در تصویر اولیه انجام شد. بدون در نظر گرفتن خطوط نواری و بر مبنای خصوصیات طیفی پدیده‌ها، نتایج به‌دست‌آمده صحت قابل قبولی را ارائه داد. به‌منظور حذف خطوط نواری شکل با ارزش پیکسل صفر در تصویر طبقه‌بندی‌شده، ابتدا هر کدام از کاربری‌های به‌دست‌آمده با کمک ابزار Layer Stack در نرم‌افزار Erdas Imagine از نتایج طبقه‌بندی جدا شدند و سپس به‌طور جداگانه و با استفاده از گزینه‌ی نزدیک‌ترین همسایه و فیلتر Majority همگن‌سازی پیکسل‌های با ارزش صفر انجام شد. زیری (۱۳۹۰: ۲۶۳) عنوان می‌کند که اگر در داخل یا مجاورت یک طبقه بزرگ‌تر تعدادی پیکسل با ارزش طیفی یکسان باشند و تعداد این پیکسل‌ها کم‌تر از ۱۰ درصد مساحت طبقه‌ی موردنظر باشد، می‌توان این پیکسل‌ها را در کلاس بزرگ‌تر ادغام نمود.

بر مبنای نتایج تحقیقات موسوی و همکاران (۲۰۱۴) در منطقه‌ی حفاظت‌شده‌ی هامون که بخشی از منطقه‌ی مورد مطالعه است و همچنین مقایسه‌ی شاخص‌های گیاهی مختلف مشخص شد که شاخص SAVI بیش‌ترین همبستگی را با زیست‌توده‌ی منطقه‌ی حفاظت‌شده هامون دارد؛ بنابراین تصمیم بر این شد که با روش مقایسه‌ای از رابطه‌ی به‌دست‌آمده از این شاخص به‌منظور برآورد صحت طبقه‌بندی استفاده گردد.

به‌منظور تعیین میزان تغییرات پویایی زیست‌بوم منطقه‌ی مورد مطالعه از شاخص SAVI استفاده شد. مزیت استفاده از این شاخص در این منطقه این است که این شاخص تأثیر خاک بر خصوصیات بازتابشی پوشش گیاهی را به حداقل می‌رساند. ضریب L در این شاخص از رابطه‌ی ۲ به دست آمده است:

$$L = 1 - \frac{(2 \times a \times NDVI \times WDVI)}{NIR + R + 0.5} = \frac{(2 \times NIR^2 \times R^2) + (1.5 \times NIR + 0.5 \times R)}{NIR + R + 0.5} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

که در آن NIR برابر با ارزش بازتاب باند مادون‌قرمز نزدیک

R برابر با ارزش بازتاب باند قرمز

A برابر با زاویه بین خط خاک و محور NIR

WDVI برابر با شاخص پوشش گیاهی وزنی

NDVI برابر با شاخص پوشش گیاهی نرمال شده است.

بر مبنای نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق مذکور، همبستگی این شاخص و زیست‌توده منطقه‌ی از رابطه‌ی ۳ به دست آمد. ضریب  $L$  بین ۱٪ برای خاک لخت تا ۱۰٪ برای پوشش گیاهی متغیر است که معمولاً این ضریب ۵/۰ در نظر گرفته می‌شود.

$$Y = 179.3X + 24.89$$

رابطه‌ی ۳

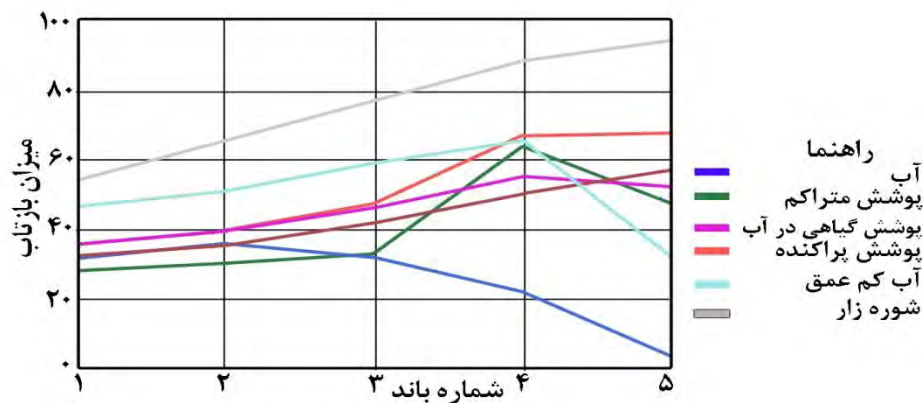
به‌منظور تعیین تغییرات کلاس‌های مختلف کاربری اراضی، هر یک از کلاس‌های به‌دست‌آمده در سال ۲۰۰۶ به‌طور جداگانه بر روی نتیجه‌ی طبقه‌بندی نظارت‌نشده در سال ۲۰۱۳ میلادی قرار داده شدند و سپس درصد تغییرات مساحت این کلاس‌ها به‌صورت نمودار ترسیم شدند.

### ۳- بحث و نتایج

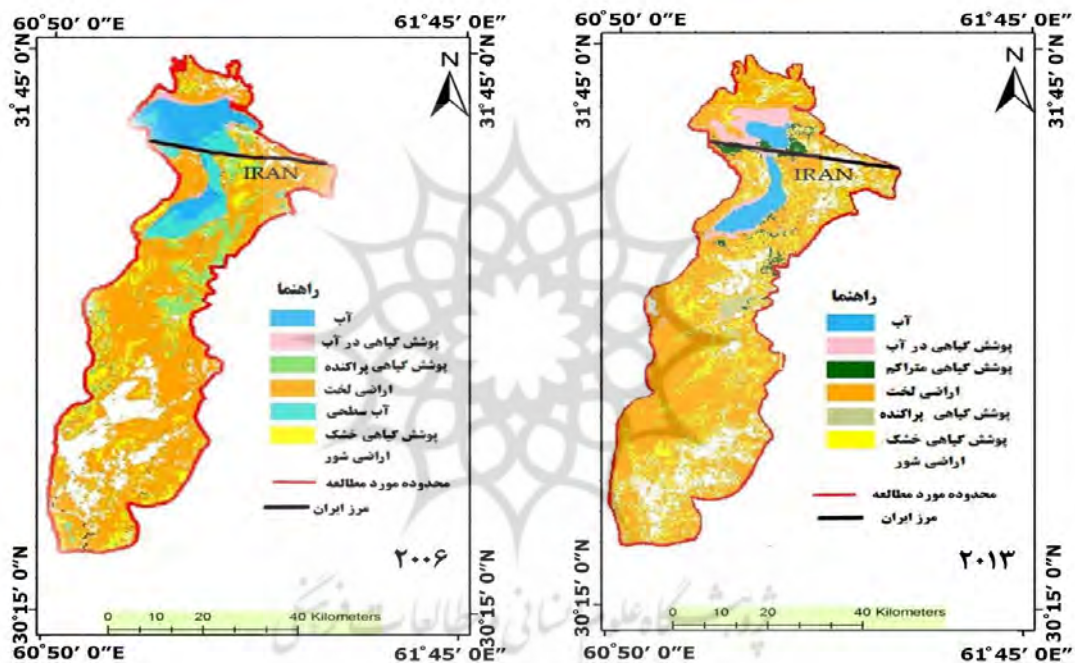
شکل ۲ خصوصیات طیفی کلاس‌های به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد. با تکیه بر خصوصیات طیفی پدیده‌ها در نهایت برای هر دوره‌ی زمانی ۷ کلاس به دست آمد (شکل ۳).

همان‌طور که نتایج طبقه‌بندی در شکل ۳ نشان می‌دهد، در هر دوره، سه طبقه‌ی کلی آب، پوشش گیاهی و اراضی بایر وجود دارد. طبقه‌ی پوشش گیاهی به دلیل تفاوت در بازتاب پدیده‌ها در سال ۲۰۰۶ به ۳ زیرکلاس تقسیم شد. کلاس پوشش گیاهی در آب متعلق به آن دسته از گیاهانی است که در داخل محدوده‌ی آبی دریاچه رشد می‌کنند که شامل گونه‌هایی چون نی لویی و قمیش است. این واحد با توجه به الگوی انعکاس طیفی پیکسل‌های این محدوده که بین باند سه و چهار دارای شیب مثبت می‌باشند، هم‌چنین شناخت کافی از محدوده‌ی مورد مطالعه به دست آمد. در سال ۲۰۱۳ علاوه بر سه زیرکلاس پوشش گیاهی، زیرکلاس پوشش گیاهی متراکم نیز اضافه گردیده است. به دلیل کاهش حجم دریاچه در طول دوره‌ی مورد بررسی، گیاهان چندساله هم‌چون بارهنگ و اویارسلام در حاشیه‌ی رطوبت‌دار دریاچه رشد کرده‌اند و پوشش نسبتاً متراکم و پایداری را ایجاد نموده‌اند. انعکاس رو به بالای این واحد در بین باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک (شکل ۲)، گویای این مهم است. با توجه به شکل ۳، کلاس آب در قسمت شمالی منطقه‌ی مشاهده می‌شود که تالاب هامون صابری و بخش کوچکی از تالاب هامون هیرمند را در برمی‌گیرد و بیش‌ترین مساحت این طبقه در خاک افغانستان قرار دارد.

زیر واحد آب سطحی به دلیل تفاوت بازتابی پیکسل‌های این گروه با طبقه‌ی آب و پوشش گیاهی به‌طور جداگانه در نظر گرفته شد. با توجه به الگوی انعکاس این واحد در شکل ۲، تغییرات شیب و انعکاس این کلاس با افزایش شماره‌ی باندها بسیار ناچیز است و از الگویی نزدیک به الگوی انعکاس آب پیروی می‌کند. از سوی دیگر به دلیل عدم جهش مثبت در بازه‌ی بین قرمز و مادون‌قرمز نزدیک و هم‌چنین شیب منفی در باندهای بالاتر، این واحد به‌عنوان آب سطحی از دیگر واحدها جدا شد. در فصل بهار این تالاب بیش‌ترین منبع آب خود را از فراجرود و هاروت تأمین می‌کند که از قسمت شمالی منطقه‌ی مورد مطالعه، سیلاب‌های بهاری را به دریاچه سرازیر می‌کند.

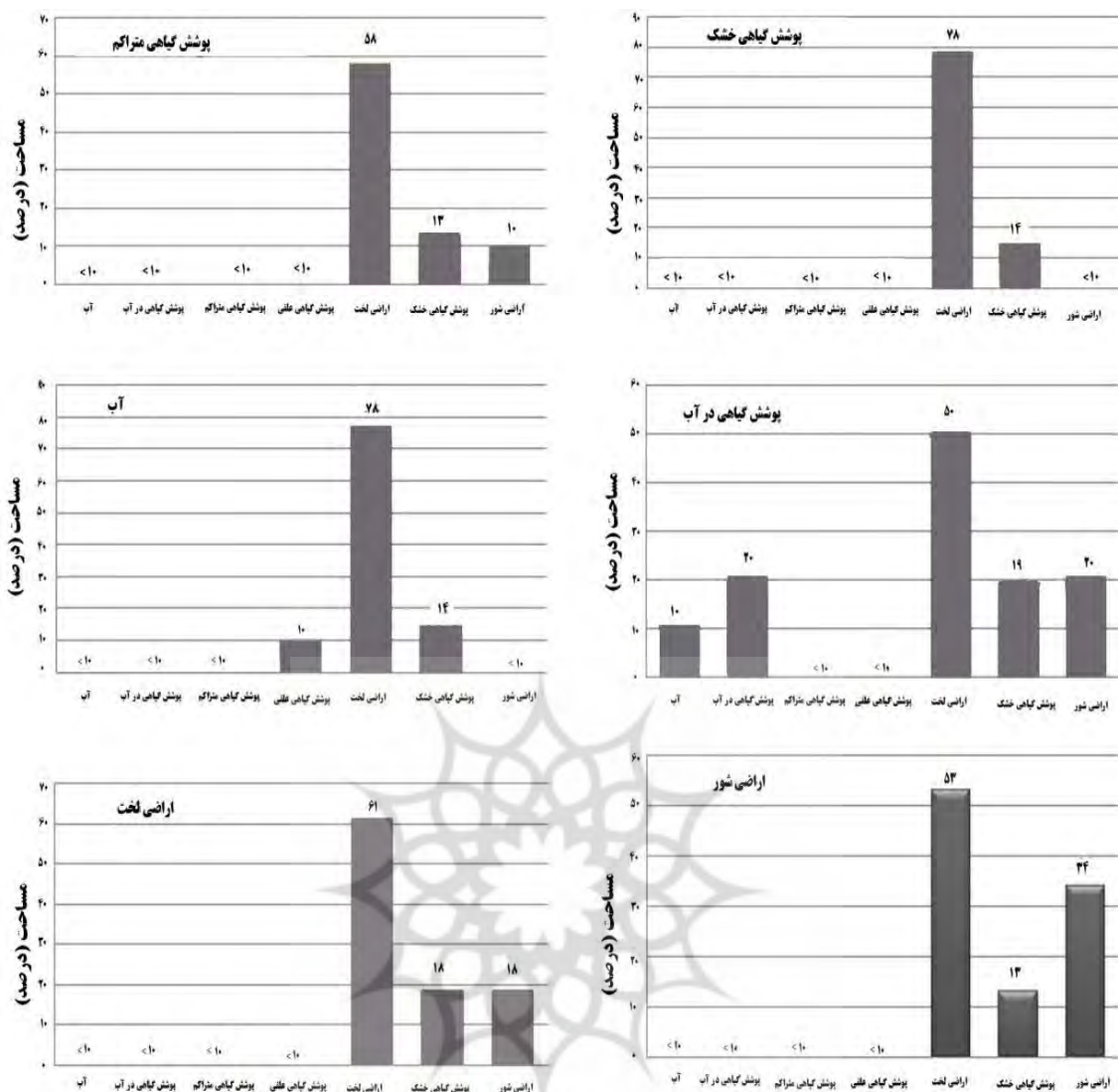


شکل ۲: پروفیل بازتاب‌های طیفی کاربری‌های اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه در طبقه‌بندی نظارت‌نشده بر مبنای تصویر سال ۲۰۰۶



شکل ۳: نتایج طبقه‌بندی نظارت‌نشده منطقه‌ی مورد مطالعه با تکیه بر خصوصیات بازتابی پدیده‌ها

به‌منظور تعیین درصد تغییرات کاربری‌ها در دوره‌ی مورد مطالعه، هریک از طبقات به‌دست‌آمده در سال ۲۰۰۶ به‌طور جداگانه بر روی مجموع کلاس‌های به‌دست‌آمده در سال ۲۰۱۳ قرار داده شدند و سپس مقدار تغییرات هریک از این کاربری‌ها در سال ۲۰۱۳ محاسبه شد. شکل ۴ درصد تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۳ بر مبنای کلاس‌های کاربری اراضی در سال ۲۰۰۶ را نشان می‌دهد.

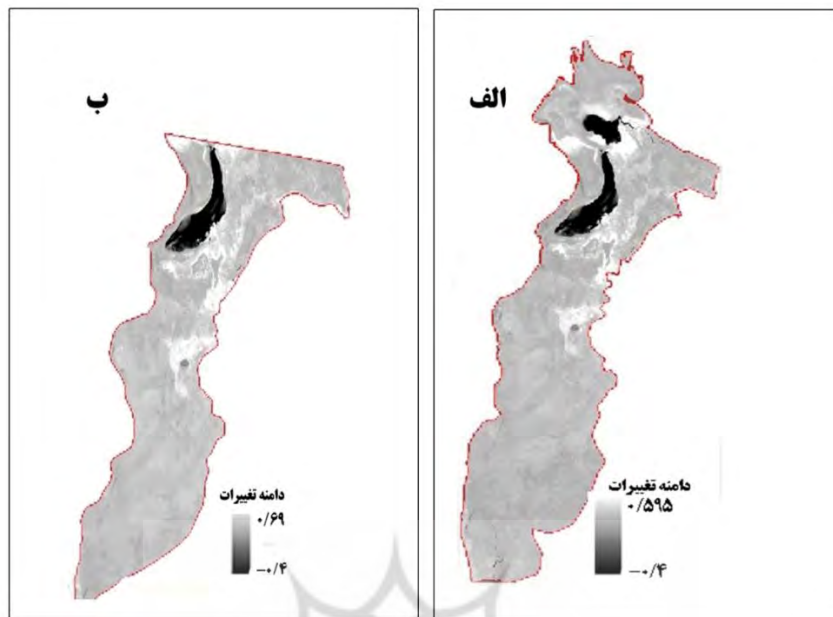


شکل ۴: درصد تغییرات کاربری‌های اراضی در سال ۲۰۱۳ بر مبنای کلاس‌های کاربری اراضی سال ۲۰۰۶

به‌منظور درک بهتر از پراکنش پوشش گیاهی شاخص SAVI برای منطقه‌ی مورد مطالعه در سال ۲۰۱۳ محاسبه شد (شکل ۵ الف). همان‌طور که شکل ۵ الف نشان می‌دهد بیش‌ترین شدت رنگ سفید که معرف اراضی با پوشش گیاهی است، در اطراف دریاچه مشاهده می‌شود که رطوبت کافی برای رشد گیاهان فراهم است. مقایسه نتیجه به‌دست‌آمده از این شاخص با نتیجه‌ی طبقه‌بندی نشان می‌دهد که روش طبقه‌بندی در این منطقه دارای صحت قابل‌قبولی است. موسوی و همکاران (۲۰۱۴) بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۰ میلادی و در ماه ژوئن، ارزش رقمی کاربری‌های اراضی را در منطقه‌ی حفاظت‌شده‌ی هامون به دست آوردند. این محدوده، مساحتی حدود ۲۹۳ کیلومترمربع را در برمی‌گیرد که شامل بخشی از محدوده‌ی مورد مطالعه در تحقیق حاضر است. به‌منظور مقایسه‌ی نتایج و صحت طبقه‌بندی، شاخص SAVI منطقه‌ی حفاظت‌شده‌ی هامون در سال ۲۰۱۳ محاسبه گردید (شکل ۵ ب) سپس بر مبنای مطالعات سال ۲۰۱۰، این شاخص به ۴ زیر کلاس تقسیم شد که در جدول ۱ نشان داده شده است. بر مبنای نتایج این شاخص، تراکم پوشش گیاهی در کلاس پوشش گیاهی متراکم، پوشش گیاهی پراکنده و اراضی بایر به ترتیب بیش از ۶۰ درصد، بین ۲۰ تا ۶۰ درصد و کمتر از ۲۰ درصد بدست آمد. مقایسه نتایج بدست آمده از شاخص SAVI، که نمایانگر متوسط



میزان تراکم پوشش گیاهی در کاربری‌های مختلف است، با نتایج طبقه‌بندی نشان می‌دهد که روش مورد استفاده جهت آشکارسازی کلاس‌های کاربری اراضی از صحت قابل قبول برخوردار است.

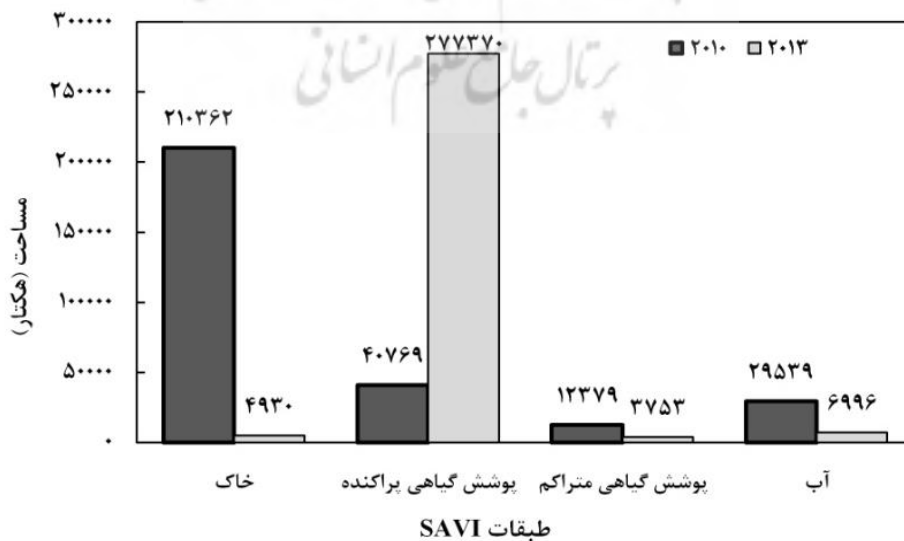


شکل ۵: شاخص SAVI در محدوده‌ی مورد مطالعه (الف) و در منطقه‌ی حفاظت‌شده‌ی هامون (ب) در سال ۲۰۱۳

جدول ۱: طبقات پوشش گیاهی محاسبه‌شده در شاخص SAVI

آب	پوشش گیاهی متراکم	پوشش گیاهی پراکنده	خاک
اراضی پوشیده از آب	تراکم پوشش بیش از ۶۰ درصد	تراکم پوشش بین ۲۰ تا ۶۰ درصد	پوشش گیاهی کم‌تر از ۲۰ درصد

با توجه به رابطه‌ی (۳) مساحت هریک از کلاس‌ها در سال ۲۰۱۳ میلادی در منطقه‌ی حفاظت‌شده‌ی هامون محاسبه شد. نتایج به‌دست‌آمده در قالب نمودار در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: نتایج تغییرات مساحت کاربری‌های اراضی منطقه‌ی حفاظت‌شده‌ی هامون بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳

نتایج طبقه‌بندی نشان می‌دهد که خاک لخت، پوشش گیاهی علفی و آب دارای بیش‌ترین انعکاس طیفی در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۴، مقدار قابل‌توجهی از کاربری‌های اراضی در طی این دوره تبدیل به اراضی بایر شده‌اند که نشان‌دهنده‌ی گرایش منفی پویایی زیست‌بوم این منطقه است. نتیجه‌ی به‌دست‌آمده در شکل ۶ نشان می‌دهد که مساحت طبقه‌ی آب در این دوره‌ی سه‌ساله به میزان ۲۲۵۴۳ هکتار کاهش پیدا کرده است و منابع آبی در این دوره محدود شده است. پوشش گیاهی متراکم (با تراکم بیش از ۶۰ درصد) با وجود وسیع‌تر بودن مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه نسبت به منطقه‌ی حفاظت‌شده‌ی هامون دارای کاهش معادل ۸۶۲۶ هکتار است، در حالی که کلاس پوشش گیاهی پراکنده در سال ۲۰۱۳ به میزان ۲۳۶۶۰۱ هکتار افزوده شده است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در مناطق دارای سطح وسیع برخی از کاربری‌ها و پوشش اراضی بازتاب نسبتاً مشابهی دارند. از آنجایی که در بارزسازی تغییرات به روش مقایسه پس از طبقه‌بندی، نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با هم مقایسه می‌شوند، دقت در انجام طبقه‌بندی صحیح تصاویر در ارائه‌ی آشکارسازی تغییرات دارای اهمیت ویژه‌ای است. تحقیقات نشان می‌دهد که در منطقه‌ی مورد مطالعه تغییرات حجم پوشش گیاهی در طول دوره‌های مختلف دارای نوسانات فراوانی بوده است. این نوسانات در تغییر حجم پوشش گیاهی می‌تواند به دلیل نامنظم بودن میزان بده آبی رودهایی باشد که به این دریاچه سراریز می‌شوند و همچنین متأثر از نوسانات شدید بارش در حوزه‌ی بالادست این منطقه باشد.

نتایج تحقیق موسوی و همکاران (۲۰۱۴) بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۰ نشان می‌دهد که بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۵ طبقه پوشش گیاهی دارای رشد مثبت بوده است و از آن به بعد این رشد منفی شده است. همچنین پژوهش راهداری و همکاران (۱۳۹۰) بر روی منطقه‌ی حفاظت‌شده‌ی هامون در بازه‌ی زمانی بین ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۸ نشان داد که پوشش گیاهی منطقه در این بازه‌ی زمانی دارای شیب منفی است، اما در سال آخر به دلیل بارش‌های مناسب و تأمین آب مورد نیاز این تالاب، پوشش منطقه دارای گرایش مثبت بوده است و در مقایسه با سال ۱۳۶۵ این مقدار ۱۰ درصد افزایش یافته است، این در حالی است که این افزایش نسبت به سال ۱۳۷۹ برابر ۲۹ درصد بوده است.

همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، حجم آب در خاک افغانستان بیش‌تر است و این به دلیل احداث دیواره‌ی مرزی توسط ایران در میان دریاچه است که مانع جریان طبیعی آب از قسمت شمالی به قسمت جنوبی می‌شود. در دوره‌های زمانی مورد بررسی، تغییرات در قسمت جنوبی ناحیه‌ی مورد مطالعه چشم‌گیر نیست. در شمال منطقه، افزایش پوشش گیاهی در آب سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۲۰۰۶ میلادی بسیار چشم‌گیر است، اما از وسعت منابع آبی به میزان زیادی کاسته شده است. این تغییر می‌تواند به دلیل کاهش حجم و عمق آب باشد که سبب رشد پوشش گیاهی در سطح وسیع‌تری در کف دریاچه شده است. این پوشش گیاهی شامل گیاهان علفی چندساله است که به‌عنوان مهم‌ترین منبع تأمین علوفه‌ی دام‌های محلی محسوب می‌شود.

لازم به ذکر است که افزایش مساحت پوشش گیاهی پراکنده (۲۰ تا ۶۰ درصد) در سال ۲۰۱۳ ممکن است به دلیل اختلاف‌زمانی در دریافت تصاویر ماهواره‌ای باشد. تصاویر سال ۲۰۱۰ مربوط به ماه ژوئن است که در این ماه به دلیل وزش بادهای موسوم به صدوبیست روزه و شدت تبخیر، رطوبت کافی برای رشد گیاهان فراهم نیست و گیاهان علفی به‌سرعت خشک می‌شوند، اما تصاویر سال ۲۰۱۳ که مربوط به ماه آوریل است، به دلیل وجود رطوبت کافی در کف تالاب‌ها، پوشش گیاهی دارای تراکم و سبزی‌نگی بیش‌تری است. با توجه به نتایج، در سال ۲۰۱۳ از مساحت کلاس آب و پوشش گیاهی به میزان قابل‌توجهی کاسته شده است که نشان از گرایش منفی پویایی زیست‌بوم منطقه‌ی حفاظت‌شده‌ی هامون است. کاهش اراضی با پوشش گیاهی متراکم که بیش‌تر شامل گیاهان چندساله است، همچنین کم شدن حجم منابع آبی در دوره‌ی مورد نظر نشان می‌دهد که این محدوده با یک گرایش منفی پویایی زیست‌بوم مواجه است و به سمت بیابانی شدن پیش می‌رود. نتیجه‌ی به‌دست‌آمده شامل بخشی از منطقه‌ی مورد مطالعه است که به‌منظور صحت و دقت روش طبقه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت. با تعمیم این نتایج به کل منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توان به این

نتیجه رسید که نوسانات منابع آبی سبب شکننده شدن زیست‌بوم دریاچه و در نتیجه شدت گرفتن روند بیابان‌زایی می‌شود.

با توجه به نتایج به دست آمده روش مورد استفاده می‌تواند به عنوان یک راهکار قابل اعتماد به منظور پایش زیست‌بوم‌های مناطق خشک و هم‌چنین مناطق فاقد اطلاعات آماری دقیق به کار برده شود.

معیشت بیش از ۴۰ درصد ساکنان منطقه‌ی سیستان به طور مستقیم وابسته به مراتع و آبیان این دریاچه است (Dahmardeh et al., 2009: 4). کاهش رطوبت و به دنبال آن کاهش تراکم و مساحت پوشش گیاهی به طور مستقیم بر اقتصاد ساکنان تأثیر می‌گذارد. مهاجرت و روی‌آوری به شغل‌های غیرقانونی همچون قاچاق (Sharifikia, 2013: 13) از مهم‌ترین آثار منفی خشکیدن این دریاچه است. هم‌چنین با کاهش رطوبت در بستر دریاچه و به دنبال آن از بین رفتن پوشش گیاهی، با توجه به بادخیز بودن منطقه در فصل تابستان و پتانسیل بالای تبخیر، شرایط برای ایجاد طوفان گردوخاک مهیا می‌شود که خود سبب بروز مشکلات جدی تنفسی (Miri et al., 2007: 4) و اقتصادی و اجتماعی می‌شود.

بررسی حداقل نیاز آبی دریاچه‌ی هامون مستلزم مطالعه‌ی تمام فاکتورهای انسانی، طبیعی و اقلیمی حوزه‌ی سیستان است. عدم تخصیص حقابه‌ی دریاچه‌ی هامون به دلیل دست‌کاری‌های انسانی چون ساخت سد در افغانستان، انحراف و ذخیره‌ی آورد رود هیرمند در گودال‌های طبیعی موسوم به چاه‌نیمه و هم‌چنین انتقال آب به شهرهای مجاور از مهم‌ترین دلایل روند منفی در پویایی زیست‌بوم این دریاچه محسوب می‌شوند. هم‌چنین با تقویت پتانسیل‌های دیگر منطقه‌ی سیستان از جمله کهن زادبوم‌ها می‌توان با اشتغال‌زایی در بخش گردشگری از میزان اتکا به منابع آب به منظور تأمین معیشت کاست. مدیریت سیلاب‌های فصلی، لایروبی کانال‌های منتهی به دریاچه از دیگر اقداماتی است که می‌تواند در احیا و تقویت زیست‌بوم منطقه و به دنبال آن تأمین معیشت ساکنان منطقه به کار گرفته شود.

## ۵- منابع

۱. حسینی، سید محمود، شفیعی، حامد، اختصاصی، محمدرضا، محتشم نیا، سعید (۱۳۹۲). تأثیر خشک‌سالی بر پوشش گیاهی منطقه‌ی سیستان، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان؛ جلد ۲۰، شماره‌ی ۲، صص ۲۳۹-۲۲۷.
۲. خداکرمی، لقمان، سفیانیان، علی (۱۳۹۱). کاربرد سنجش‌ازدور چند زمانی در تعیین سطح زیر کشت، علوم آب‌و‌خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره‌ی ۱۶، شماره‌ی ۵۹، صص ۲۳۱-۲۱۵.
۳. راهداری، محمدرضا، خوارزمی، رسول، کارکن ورنوسفادارانی، منصور (۱۳۹۳). پایش تغییرات تراکم پوشش جنگلی منطقه‌ی حفاظت‌شده جنگل‌های حرا با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌نشده و با کمک شاخص پوشش گیاهی نرمال شده، سومین همایش ملی علوم جنگل، دانشگاه تهران، ایران.
۴. راهداری، وحید، ملکی، سعیده، افسری، خسرو، آبتین، الهام، پیری، حلیمه، فخریه، اکبر (۱۳۹۰). پایش تغییرات کاربری اراضی پناهگاه حیات‌وحش هامون طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۸ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، نشریه‌ی سنجش‌ازدور و GIS ایران، دوره‌ی ۳، شماره‌ی ۲، صص ۷۰-۵۹.
۵. زبیری، محمود، مجد، علیرضا (۱۳۹۰). آشنایی با فن سنجش‌ازدور و کاربرد در منابع طبیعی (چاپ نهم)، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۶. زهتابیان، غلامرضا، پوررضا، مریم، خسروی، حسن، راهداری، محمدرضا (۱۳۹۳). تأثیر تغییر کاربری اراضی بر روی تخریب زمین و بیابان‌زایی در حوزه آبخیز روانسر، نشریه‌ی مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۱۶، صص ۸۵-۷۳.
۷. سلمان ماهینی، عبدالرسول، فقهی، جهانگیر، نادعلی، آزاده، ریاضی، برهان (۱۳۸۷). بررسی تغییرات پوشش درختی استان گلستان به روش طبقه‌بندی شبکه‌ی عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست، مجله‌ی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، دوره‌ی ۱۶، شماره‌ی ۳، صص ۵۰۵-۴۹۵.
۸. کبیری، کیوان (۱۳۸۰). بررسی اثرات خشک‌سالی بر پوشش گیاهی ایران در دهه‌ی ۹۰ میلادی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای NOAA، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد عمران، دانشکده‌ی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، ۹۸ صفحه.

1. Barzani, M., & Khairulmaini, O. S. (2013). Desertification risk mapping of the Zayandeh Rood Basin in Iran. *Journal of Earth System Science*, 122(5), pp 1269–1282.
2. Carlos C., Simon H., & Mc Michael A., (2005). *Millennium Ecosystem Assessment (MEA), Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington, DC: World Resources Institute, Island Press.
3. Chaban, L.N. (2004). *Theory and algorithms pattern recognition*. Moscow: Moscow state university of geodesy and cartography (in Russian).
4. Dahmardeh, M., Dahmardeh, M., Yazdani, S., & Piri, E. (2009). The socio-economic effects of Hamoon Lake in Sistan region of Iran. *J Food Agric Environ*, 7(2), pp 799-802.
5. Darvishsefat, A. (1999). *Thematic GIS Data based Maps Accuracy Assessment*, 5th Geographic Information System conference.
6. Miri, A., Ahmadi, H., Ghanbari, A., & Moghaddamnia, A. (2007). Dust storms impacts on air pollution and public health under hot and dry climate. *Int. J. Energy Environ*, 2(1), pp 101-105.
7. Mousavi, S.A., Shahriari, A., fakhire, A., Ranjbar Fordoii, A., & Rahdari, V. (2014). Assessment of changes trend of land cover with use of remote sensing data in Hamoon wetland. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4(5), pp 146-156.
8. Rahdari, G.R., Rahdari, M.R., Fakhireh, A.A., Shahryari, A.R., & Khosravi, H. (2013). GIS-based Monitoring and EWSs of Desertification (Case study; southeastern of Iran). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(10), pp 1185-1198.
9. Rahdari, M.R., Khosravi, H., & Nazari Samani, A.A. (2014). The nature and origin of sand dunes in Kashan ERG, Iran. *Int J Farming Allied Sci*, 3(5), pp 597-602.
10. Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Goudie, A.S., & Kahn, R.A. (2013). Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: the case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. *Science of the Total Environment*, 463, pp 552-564.
11. Salvati, L., Munafo, M., Morelli, V. G., & Sabbi, A. (2012). Low-density settlements and land use changes in a Mediterranean urban region. *Landscape and Urban Planning*, 105(1), pp 43-52.
12. Salvati, L., & Zitti, M. (2008). Regional convergence of environmental variables: empirical evidences from land degradation. *Ecological Economics*, 68(1), pp 162-168.
13. Sharifikia, M. (2013). Environmental challenges and drought hazard assessment of Hamoun Desert Lake in Sistan region, Iran, based on the time series of satellite imagery. *Natural hazards*, 65(1), pp 201-217.